

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в статье проведен сравнительный анализ функционирования поисковых машин, средств метапоиска, тематических рубрикаторов и методов их построения, рассмотрена система поиска и автоматической классификации документов в сети Интернет, использующая теорию нейронных сетей, что подтверждает основную мысль статьи о возможности применения нейронных сетей для организации поиска информации во всемирном Web-пространстве.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Электронный ресурс: <http://www.searchenginewatch.com/webmaster/work.html>.
2. Электронный ресурс: <http://www.searchenginewatch.com/links/Metacrawlers.html>.
3. Солтон Дж. Динамические библиотечно-информационные системы. – М.: Мир, 1979 – 230с.
4. Головки В.А. Нейроинтеллект: Теория и применения. Книга 1. Организация и обучение нейронных сетей с прямыми и обратными связями - Брест:БПИ, 1999, - 260с.
5. Головки В.А. Нейроинтеллект: Теория и применения. Книга 2. Самоорганизация, отказоустойчивость и применение нейронных сетей - Брест:БПИ, 1999, - 228с.
6. Горбань А.Н., Дунин-Барковский В.Л., Кирдин А.Н. и др. Нейроинформатика. Новосибирск: Наука. Сибирское предприятие РАН, 1998. – 296 с.
7. Кураленок И., Некрестьянов И., Оценка систем текстового поиска. // Программирование. 28(4), 2002, 226-242.
8. Электронный ресурс: <http://people.csail.mit.edu/rennie/20Newsgroups>.

УДК 004.896

*Калюхович Д.О.*

*Научный руководитель: проф., доктор техн. наук Головки В.А.*

## УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ РОБОТА В ЗАДАЧЕ СЛЕДОВАНИЯ ЗА ЛИНИЕЙ

Целью данной работы является разработка алгоритма управления движением робота в задаче следования за линией. Разработанный алгоритм может использоваться в качестве одной из подсистем распределенной системы управления транспортировкой грузов как между различными участками одного производства, так и между различными организационными структурами предприятия, что позволяет повысить эффективность и, как следствие, рентабельность производства. В настоящее время для слежения за направлением движения используются дорогостоящие инфракрасные датчики и CCD-камеры, что ограничивает область применения таких систем. Ввиду этого разработка алгоритма, использующего для слежения за линией относительно дешевой веб-камеры, является востребованной и актуальной задачей.

Во время реализации данного алгоритма были выполнены следующие этапы:

1. Разработка и программная реализация алгоритма детектирования линии.
2. Создание новой команды для мобильного робота MAX (рис. 1), позволяющей во время движения поворачивать его передние колеса на определенный угол.
3. Разработка и программная реализация алгоритма управления движением робота в задаче следования за линией.
4. Тестирование.

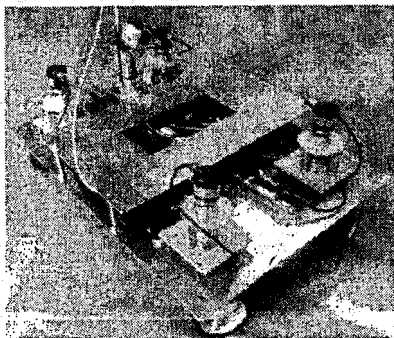


Рис. 1. Мобильный робот MAX, разработанный в лаборатории системной инженерии Высшей школы Равенсбург-Вайнгартен, Германия

Для связи установленной на мобильный робот MAX веб-камеры и управляющей программы используется свободно распространяемая библиотека OpenCV. OpenCV обеспечивает кроссплатформенный высокоуровневый программный интерфейс, который включает в себя около 300 функций и несколько C++ классов для обработки как статических изображений, так и динамического видеопотока в реальном режиме времени. Данная библиотека не имеет ограничений на ее использование, связанное с необходимостью установки дополнительных библиотек и пакетов сторонних производителей. OpenCV является свободно распространяемым программным продуктом: ее использование как в коммерческих, так и в некоммерческих проектах бесплатно, что потенциально снижает стоимость разрабатываемого программного обеспечения.

В качестве линии, за которой должен следовать мобильный робот MAX, применяется изолирующая лента красного цвета. Данное условие определяет алгоритм детектирования линии, который заключается в следующем:

1. Задание цвета линии. Для этого используется один кадр, полученный со встроенной веб-камеры. Выделяется один фрагмент линии и берется заранее заданное количество точек, лежащих на линии. Вычисляется средний цвет и девиация около него (используется RGB-кодировка цвета). Ниже представлены экспериментальные данные:

Таблица 1. Данные для вычисления среднего цвета и девиации около него

№	R (красный)	G (зеленый)	B (голубой)
1	240	61	82
2	157	15	27
3	223	51	73
4	217	86	102
5	250	96	108
6	208	83	91
7	182	49	52
8	250	110	121
9	230	113	139
10	227	137	162
max	250	137	162
min	157	15	27
mean	215,92	80,1	95,7
std	33,84	36,4	40,08

где  $\max = \max_{i=1..N} x_i$ ,  $\min = \min_{i=1..N} x_i$ ,  $\text{mean} = 1/N \cdot \sum_{i=1}^N x_i$ ,  $\text{std} = 1/N \cdot \sum_{i=1}^N (x_i - \text{mean})^2$ ,  $N$  - количество точек.

во точек.

2. Вычисление для каждого пикселя степени его принадлежности  $probability \in (0; 1.0]$  к красному цвету с использованием функции Гаусса:

$$red = \exp\left(-\frac{(x - 216)^2}{2 \cdot 33^2}\right), \quad (1)$$

$$green = \exp\left(-\frac{(x - 80)^2}{2 \cdot 36^2}\right), \quad (2)$$

$$blue = \exp\left(-\frac{(x - 95)^2}{2 \cdot 40^2}\right), \quad (3)$$

$$probability = red \cdot green \cdot blue. \quad (4)$$

3. Задание порога  $level$ . Использование следующего алгоритма для определения точек, принадлежащих линии:

Если  $probability \geq level$  Тогда

Пиксель принадлежит линии,

Иначе

Пиксель является фоновой точкой.

4. Применение медианных фильтров  $1 \times 5$ ,  $5 \times 1$ ,  $1 \times 3$ ,  $3 \times 1$ .

5. Удаление изолированных точек.

В результате работы алгоритма детектирования линии имеется бинарный массив  $x_{ij} = \{0, 1\}$ , где  $i = \overline{1, height}$ ,  $j = \overline{1, width}$ ,  $height$  и  $width$  - высота и ширина кадра в пикселях соответственно,  $x_{ij} = 1$  только в том случае, если точка принадлежит линии,  $x_{ij} = 0$  - в противном случае. При проведении экспериментов используются значения  $height = 480$ ,  $width = 640$ ,  $level = 0.2$ .

Создание команды, позволяющей во время движения поворачивать передние колеса робота на определенный угол, является необходимым, поскольку позволяет аналитически учитывать изменения направления движения и, как следствие, повысить точность управления и скорость движения.

Конструкция мобильного робота MAX позволяет задавать углы поворота и скорости движения каждого из четырех колес, чем достигается высокая гибкость в его управлении. Ниже представлена кинематическая модель поворота передних колес робота на определенный угол (рис. 2):

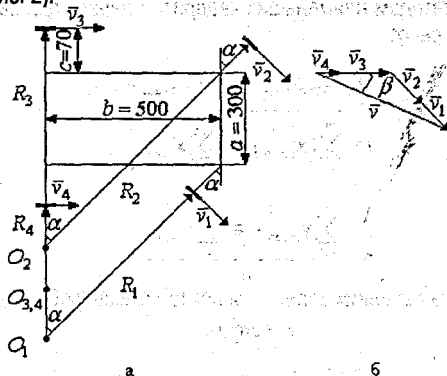


Рис. 2. Кинематическая модель поворота передних колес мобильного робота MAX: а) геометрические характеристики; б) векторы скоростей

При повороте передних колес на заранее заданный угол  $\alpha$  происходит движение колес по окружностям с центрами в точках  $O_1, O_2, O_{3,4}$  и радиусами:

$$R_1 = \frac{b}{\sin \alpha} - c, \quad (5)$$

$$R_2 = \frac{b}{\sin \alpha} + c, \quad (6)$$

$$R_3 = \frac{b}{\sin \alpha} + a + c \cdot \cos \alpha, \quad (7)$$

$$R_4 = \frac{b}{\sin \alpha} + c \cdot (\cos \alpha - 2). \quad (8)$$

Поскольку угловая скорость поворота  $\omega$  всех колес одинакова при  $t \rightarrow 0$  и скорость центра массы робота  $v$  задается, скорости колес определяются следующим образом:

$$v_1 = v / \sqrt{\left(\frac{R_1 + R_2}{R_1}\right)^2 + \left(\frac{R_3 + R_4}{R_1}\right)^2} + 2 \cdot \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1}\right) \cdot \left(\frac{R_3 + R_4}{R_1}\right) \cdot \cos \alpha,$$

$$v_2 = \frac{R_2}{R_1} \cdot v_1, \quad (9)$$

$$v_3 = \frac{R_3}{R_1} \cdot v_1, \quad (10)$$

$$v_4 = \frac{R_4}{R_1} \cdot v_1. \quad (11)$$

Алгоритм управления движением робота в задаче следования за линией основан на использовании параметров прямой  $y = ax + b$ , описывающей линию и полученной методом наименьших квадратов. Для этого исходное видео изображение, содержащее только точки, лежащие на линии, разбивается параллельными оси абсцисс прямыми на заранее известное число областей  $m$  - в экспериментах используется  $m = 30$ . Далее в данных областях производится вычисление среднего значения координат по осям абсцисс и ординат  $x_{mean}^i$  и  $y_{mean}^i$ , где  $i = 1, m$ . Ввиду наличия в полученных координатах большой зашумленности производится их свертка с усредняющими векторами  $[0.33 \ 0.33 \ 0.33]$  и  $[0.2 \ 0.2 \ 0.2 \ 0.2 \ 0.2]$ .

В соответствии с методом наименьших квадратов параметры вышеприведенной прямой равны соответственно:

$$a = \frac{m \cdot \sum_{i=1}^m x_{mean}^i y_{mean}^i - \sum_{i=1}^m y_{mean}^i \sum_{i=1}^m x_{mean}^i}{m \cdot \sum_{i=1}^m (x_{mean}^i)^2 - \left(\sum_{i=1}^m x_{mean}^i\right)^2}, \quad (12)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^m y_{mean}^i - a \cdot \sum_{i=1}^m x_{mean}^i}{m}. \quad (13)$$

Тогда углы поворота передних колес  $\alpha$  и центра массы робота  $\beta$  составляют:

$$\alpha = \arctg a, \quad (14)$$

$$\beta = \arcsin\left(\frac{v_1 + v_2}{v} \sin \alpha\right). \quad (15)$$

Для тестирования системы управления роботом была создана специальная трасса. Она представляет собой замкнутый путь с множеством поворотов различной кривизны и радиуса, а также прямых отрезков пути. Особое свойство этой трассы заключается в том, что она состоит из однородной по цвету поверхности и линии, созданной при помощи изолирующей ленты. Тестирование проводилось при скорости  $v = 10$  см/с. При этом поворот передних колес робота на определенный угол направо или налево, заданный на сервере, непосредственно управляющем роботом, осуществлялся без его останова. Тестирование выявило устойчивое движение робота как во время прохождения им прямых участков трассы, так и поворотов различной кривизны, что свидетельствует о потенциальной возможности использования разработанных алгоритмов на реальных объектах в промышленности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Shailesh Lakkad. Modeling and simulation of steering systems for autonomous vehicles. Master thesis, College of Engineering, The Florida State University, 2004.
2. Giergiel M.J., Z. Hendzel, W. Zycki. Modelowanie i sterowanie mobilnych robotów kołowych. PWN, Lublin, Poland, 2002.

УДК 519.233.3

*Дмитриева А.В.*

*Научный руководитель: доц. Дереченник С.С.*

#### ПРОБЛЕМЫ ОПТИМИЗАЦИИ ГРУППИРОВАНИЯ ДАННЫХ ПРИ ПРОВЕРКЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ГИПОТЕЗ

Цель данной работы – исследовать эффективность критериев согласия типа хи-квадрат при использовании метода асимптотически оптимального группирования.

В связи с тем, что разбиение области определения случайной величины на интервалы равной длины и на интервалы равной вероятности для проверки гипотез с помощью критерия  $\chi^2$  Пирсона является неэффективным и приводит к чрезвычайно неоднозначным результатам, различными исследователями предлагаются модификации такого разбиения (группирования) – например, метод асимптотически оптимального группирования данных. Метод заключается в том, что, с целью минимизация потерь количества информации Фишера при группировании, границы интервалов определяются, исходя из их количества, предполагаемого закона распределения и конкретных оценок его параметров. Метод был исследован авторами с применением компьютерного моделирования, получены граничные точки интервалов в виде, инвариантном относительно параметров распределений, и на их основе сформированы таблицы группирования для достаточно широкого ряда распределений [1-4].

Нами данный метод исследован на примере анализа характеристик моделей одномерно неупорядоченных дисперсных систем, полученных в результате вычислительных экспериментов [5].

Достижимый этим методом уровень значимости  $\alpha$  (степень согласия) более устойчив к числу интервалов  $i$ , в целом, существенно выше, чем при разбиении области определения случайной величины на интервалы равной длины или равной вероятности. Тем не менее, и в этом методе достигаемое согласие заметно зависит от числа интервалов, разработчики же метода не имеют четких рекомендаций по выбору этого числа.